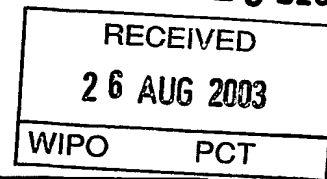


20 DEC 2004



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 JUIN 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

<p>REMISE DES PIÈCES</p> <p>DATE <b>19 JUIN 2002</b></p> <p>LIEU <b>0207598 INPI</b></p> <p>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI</p> <p>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>19 JUIN 2002</b></p>		<p><b>1</b> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</p> <p>CABINET LOYER 78 avenue Raymond Poincaré 75116 Paris</p>	
<p>Vos références pour ce dossier (facultatif) T020509 JKLC</p>			
<p>Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie</p>			
<p><b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE</p>		<p>Cochez l'une des 4 cases suivantes</p>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date
<p><b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</p> <p>"Procédé, dispositif et produit-programme pour déterminer localement le profil des horizons géologiques"</p>			
<p><b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</p>		<p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p>	
<p><b>5</b> DEMANDEUR</p>		<p><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p>	
Nom ou dénomination sociale		TSURF	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		4 . 1 . 0 . 0 . 8 . 7 . 1 . 5 . 9	
Code APE-NAF		17 . 2 . 1 . Z	
Adresse	Rue	Bâtiment M11 - Parc d'Activités Technologiques Europarc Nancy Brabois 22, allée de la Forêt de la Reine	
	Code postal et ville	54500	VANDOEUVRE LES NANCY
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

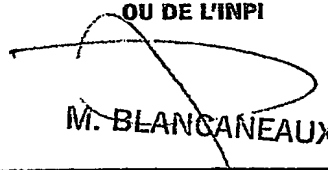
LIEU

N° D'ENREGISTREMENT

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

**INPI**  
0207593  
11 9 JUIN 2002

DB 540 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier :</b> (facultatif)		T020509 JKLC	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>MANDATAIRE</b>			
Nom		LAGET	
Prénom		Jean-Loup	
Cabinet ou Société		CABINET LOYER	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	78, avenue Raymond Poincaré	
	Code postal et ville	75116	PARIS
N° de téléphone (facultatif)		01 45 02 60 00	
N° de télécopie (facultatif)		01 45 02 60 99	
Adresse électronique (facultatif)		courrier@cabinet-loyer.fr	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		<b>Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		<b>Uniquement pour les personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé « Suite », indiquez le nombre de pages jointes			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>SIGNATURE DU DEMANDEUR</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) J.L. LAGET CPI N° 92-1134		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  M. BLANCANEUX	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

L'invention est relative à un procédé pour déterminer localement la forme des horizons géologiques à partir des données obtenues par traitement de mesures sismiques.

5 L'invention est également relative à un dispositif pour déterminer localement la forme des horizons géologiques à partir de données obtenues par traitement de mesures sismiques.

L'invention est enfin relative à un produit-programme d'ordinateur permettant le fonctionnement d'un dispositif programmable selon l'invention, pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention.

10 Le document US 6 151 555 est relatif à un procédé de traitement de signaux sismiques et à un dispositif pour la détermination d'un cube de valeur de variance. Ce procédé prévoit de calculer pour chaque nœud d'une matrice sismique tridimensionnelle une valeur de variance égale à la variance des amplitudes sismiques au voisinage du nœud considéré. Le voisinage du nœud considéré est un  
15 sous-ensemble des nœuds de la matrice tridimensionnelle dont la distance au nœud considéré est inférieure à un seuil choisi. Ce procédé repose sur l'hypothèse que la valeur de variance ainsi définie est importante pour les nœuds proches d'une discontinuité.

20 Le document WO 99/64896 décrit un procédé d'interprétation de données sismiques, particulièrement adapté pour identifier les limites de réservoirs d'hydrocarbures.

Un premier but de l'invention est d'améliorer les analyses du profil des horizons géométriques.

25 Un deuxième but de l'invention est de faciliter la détermination des vecteurs unitaires normaux aux horizons d'un cube sismique tridimensionnel.

Un troisième but de l'invention est de faciliter la détermination d'un indice de courbure des horizons dans un cube sismique tridimensionnel.

30 L'invention a pour objet un procédé pour déterminer localement la forme des horizons géologiques, dans lequel on construit une fonction continue  $S_{ij,k}(t)$  par interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une matrice sismique

tridimensionnelle, ladite fonction étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :

5 a). utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation ;

b). retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  le sous-voisinage consistant en des traces voisines  $S_{pq,k}(t)$  correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations  $R_{ij,pq,k}(h)$  supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;

10 c). définir pour chaque trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  comportant des coefficients paramétriques ;

d). déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

15 Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- les valeurs de résidu de l'étape c) sont des valeurs absolues de forme différentielle paramétrique, par exemple  $\rho_{ij,pq,k} = | a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$ ,

20 où  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  sont les paramètres et  $h_{ij,pq,k}$  est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  "centrale" et une trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  voisine,

- la minimisation d'ensemble des résidus  $\rho_{ij,pq,k}$  sur le voisinage conditionnel comporte une minimisation d'une somme de puissances des résidus du type suivant

$$C^\alpha(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^\alpha, \text{ où } \alpha \text{ est une puissance supérieure ou égale à } 1,$$

25 Le cas échéant, chaque terme  $(\rho_{ij,pq,k})^\alpha$  de cette somme peut être pondérée par un facteur fonction croissante du coefficient de corrélation  $P_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$ .

- les coefficients  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  déterminés à l'étape d) sont utilisés pour définir un vecteur unitaire  $N(i,j,k)$  de coordonnées  $N^x(i,j,k)$ ,  $N^y(i,j,k)$ ,  $N^z(i,j,k)$ , par exemple de la forme:

$$N^x(i,j,k) = \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^y(i,j,k) = \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^t(i,j,k) = \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 - 1}}$$

et on choisit ce vecteur unitaire comme vecteur unitaire «normal» orthogonal  
5 à l'horizon au nœud (i, j, k),

- on utilise l'ensemble des vecteurs unitaires normaux  $N(i, j, k)$  pour définir le champ des vecteurs unitaires normaux, en vue de l'affichage sur écran des profils des horizons sismiques,

- on choisit comme indice de courbure une fonction croissante des résidus  
10 comportant les coefficients paramétriques déterminés à l'étape d).

L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour retenir comme  
15 voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  le sous-voisinage consistant en des traces voisines  $S_{pq,k}(t)$  correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations  $R_{ij,pq,k}(h)$  supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1, des moyens pour définir pour chaque trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite  
20 trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  comportant des coefficients paramétriques et des moyens pour déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

-le dispositif comporte des moyens de mémorisation et des moyens de  
25 visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'invention.

L'invention a enfin pour objet un produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes d'un procédé selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

5 L'invention sera mieux comprise grâce à la description qui va suivre donnée à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- La figure 1 représente schématiquement une matrice sismique tridimensionnelle et une trace sismique locale continue.

- La figure 2 représente schématiquement, un exemple de voisinage local  $N_{ij,k}$  consistant en un ensemble de trace sismique locale continues  $S_{pq,k}(t)$  voisines de la trace centrale de référence  $S_{ij,k}(t)$  elle même située a la verticale du géophone  $G_{ij}$  et interpolant les amplitudes sismiques autour de  $t=k$ .

- La figure 3 représente schématiquement, une section verticale de voisinage local conditionnel  $N_{ij,k}(r)$  d'une trace sismique locale continue de référence  $S_{ij,k}(t)$ .

- La figure 4 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle avec un décalage optimal  $h_{ij,pq,k}$  et un voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$ .

- La figure 5 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle analogue à la figure 4 avec présence d'une faille ou discontinuité.

- La figure 6 représente schématiquement, un schéma fonctionnel d'un procédé selon l'invention.

En référence aux figures 1 à 5, les éléments identiques ou fonctionnellement équivalents sont désignés ou repérés de manière identique.

25 Sur la figure 1, une matrice sismique tridimensionnelle est obtenue par relevé de mesures enregistrées par des géophones  $G_{ij}$  disposés sur un réseau  $x,y$  en des points de coordonnées  $i,j$ . Le relevé des mesures échantillonnées dans le temps est représenté suivant un axe  $t$  descendant représentatif de la profondeur ou d'une verticale descendante à partir de la surface de la terre ou de la mer. Les mesures sont caractérisées par leur amplitude, par exemple une amplitude relevée par le géophone

$G_{ij}$  au temps ou à la profondeur d'échantillonnage  $t_k$ . La mesure discrète effectuée par le géophone  $G_{ij}$  au temps ou à la profondeur  $t_k$  est appelée amplitude sismique  $S_{ij,k}$ .

L'ensemble des amplitudes sismiques correspondant à un géophone  $G_{ij}$  de coordonnées  $i,j$  est une matrice unidimensionnelle ( $S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijk}, \dots, S_{ijN}$ ) appelées trace sismique discrète, car cette matrice unidimensionnelle correspond à la trace selon le point de coordonnées horizontales  $i,j$  de la matrice sismique tridimensionnelle obtenue par mesures sismiques.

L'axe vertical  $t$  orienté selon une verticale descendante désigne usuellement le temps, mais peut également être traité pour représenter une profondeur à partir de la surface.

L'invention concerne aussi bien l'application à une troisième coordonnée  $t$  représentative du temps, qu'à une troisième coordonnée  $t$  représentative de la profondeur.

A partir de la trace sismique discrète située à la verticale d'un géophone  $G_{ij}$  on définit, par interpolation ou approximation des valeurs discrètes autour de  $t=t_k=k$ , une fonction continue  $S_{ij,k}(t)$  qui est désignée comme "trace sismique locale continue". Les méthodes d'approximation ou d'interpolation de valeurs discrètes pour engendrer une fonction continue sont nombreuses, et comprennent notamment les interpolations ou approximations polynomiales, ainsi que les interpolations ou approximations trigonométriques polynomiales.

Toute autre variante d'interpolation ou d'approximation fournissant une fonction continue peut également être appliquée à la présente invention pour fournir une "trace sismique locale continue".

Sur la figure 2, plusieurs traces sismiques locales continues définissent un exemple de voisinage d'une trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  de référence. Le voisinage d'une trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  est défini comme l'ensemble des traces sismiques locales continues dont les indices spatiaux horizontaux  $p,q$  sont voisins des indices spatiaux horizontaux  $i,j$  de la trace sismique locale continue de référence.

A titre d'exemple, les coordonnées spatiales horizontales  $p,q$  correspondant au géophone  $G_{pq}$  sont voisines des coordonnées spatiales horizontales  $i,j$  correspondant



au géophone  $G_{ij}$  si les valeurs absolues des différences  $i-p$  et  $j-q$  sont inférieures à des entiers donnés, par exemple à 2.

----- Dans ce cas, comme représenté à la figure 2, la trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  est associée à huit traces sismiques locales continues voisines entourant la trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$ .

Dans le cas de traces sismiques locales continues produites par des mesures sismiques, la forme des horizons géologiques introduit des décalages verticaux entre des traces sismiques locales continues voisines. Dans le but de déterminer des relations entre deux traces sismiques continues locales voisines  $S_{ij,k}(t)$  et  $S_{pq,k}(t)$  centrées sur la même coordonnée verticale d'échantillonnage  $t=t_k=k$  et correspondant à des coordonnées spatiales  $i,j$  et  $p,q$  différentes, on calcule la fonction de corrélation  $R_{ij,pq,k}(h)$  des deux traces sismiques locales continues.

La fonction de corrélation de deux traces sismiques locales continues voisines est obtenue par la formule suivante

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}}$$

où le numérateur correspond à la fonction de covariance de  $S_{ij,k}(t)$  et  $S_{pq,k}(t)$

obtenue par l'expression suivante  $C_{ij,pq,k}(h) = \int_{t_k-\Delta}^{t_k+\Delta} S_{ij,k}(t) \cdot S_{pq,k}(t+h) \cdot dt$ .

Dans cette intégrale définissant  $C_{ij,pq,k}(h)$ , le paramètre  $\Delta$  définit une « fenêtre verticale d'investigation » autour de  $t=t_k=k$ .

Par exemple, si les traces sismiques locales continues  $S_{ij,k}(t)$  et  $S_{pq,k}(t)$  sont des polynômes trigonométriques de la forme suivante interpolant les données sismiques

$$S_{ij,k}(t) = \sum_{s=1}^m a_s^{ij,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{ij,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

$$S_{ij,k}(t) = \sum_{s=1}^n a_s^{ij,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{ij,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

alors on peut montrer que la fonction de covariance  $C_{ij,pq,k}(h)$  est elle même un polynôme trigonométrique de la forme suivante où les coefficients  $A_s^{ij,pq,k}$  et  $B_s^{ij,pq,k}$  dépendent des coefficients  $a_s^{ij,k}$ ,  $a_s^{pq,k}$ ,  $b_s^{ij,k}$  et  $b_s^{pq,k}$  :

$$C_{ij,pq,k}(h) = \sum_{s=1}^m A_s^{ij,pq,k} \cdot \cos(s\omega h) + B_s^{ij,pq,k} \cdot \sin(s\omega h)$$

5

Un résultat mathématique classique et connu est que la fonction de corrélation

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}} \quad \text{traduit une similarité des fonctions corrélées}$$

lorsque cette fonction de corrélation se rapproche de 1.

10

L'étude des fonctions de corrélation des traces sismiques locales continues  $S_{ij,k}(t)$  et  $S_{pq,k}(t)$  permet de définir comme décalage optimal la valeur  $h_{ij,pq,k}$  de  $h$  correspondant au maximum de la fonction de corrélation  $R_{ij,pq,k}(h)$ , c'est-à-dire au maximum de la fonction de corrélation le plus proche de 1. Contrairement à l'art

15

existant basé sur une formulation discrète de la fonction de corrélation  $R_{ij,pq,k}(h)$ , l'utilisation d'une formulation continue des traces sismiques et donc de la fonction de corrélation permet d'obtenir un décalage optimum qui n'est pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical correspondant à la variable  $t$ .

20

La définition du décalage optimal  $h_{ij,pq,k}$  de deux traces sismiques locales continues voisines permet d'obtenir une première approximation des horizons passant par cette trace sismique locale continue de référence  $S_{ij,k}(t)$ , comme représenté aux figures 3 à 5. Contrairement à l'art existant, le fait d'utiliser des décalages optimaux qui ne sont pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical permet d'éviter des erreurs connues sous le nom de «aliasing».

25

Sur ces figures 3 à 5, on définit un voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$  de la trace sismique continue locale de référence  $S_{ij,k}(t)$  qui est un sous-voisinage du voisinage initial des traces sismiques locales continues retenues pour le calcul de corrélation et de définition des décalages optimaux. Le voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$  est choisi de manière que, pour toute trace sismique continue locale  $S_{pq,k}(t)$  appartenant à  $N_{ij,k}(r)$ , le décalage optimal  $h_{ij,pq,k}$  correspondant est tel que la corrélation  $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$  entre  $S_{ij,k}(t)$  et  $S_{pq,k}(t)$  est supérieure à un seuil prédéterminé  $r$  compris entre 0 et 1.

30

Comme on le voit sur la figure 5, la fixation du seuil  $r$  permet également d'englober dans un voisinage conditionnel une discontinuité ou une faille géologique, ce qui constitue un avantage important par rapport à l'art antérieur.

Les dispositions précitées fournissent ainsi une modélisation continue  
5 permettant la mise en œuvre de l'invention.

Sur la figure 6, la modélisation numérique décrite en référence aux figures 1 à 5 est effectuée à l'étape 100 pour mettre en œuvre un procédé selon l'invention.

Après cette étape 100 de modélisation numérique, on définit à l'étape 101, pour chaque trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  du voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$   
10 une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  centrale de référence comportant des coefficients paramétriques.

La valeur de résidu  $\rho_{ij,pq,k}$  choisie traduit l'écart entre l'horizon à la verticale du géophone  $G_{pq}$  et le plan tangent à l'horizon à la verticale du géophone  $G_{ij}$ .

A titre d'exemple non limitatif, on peut définir comme valeur de résidu une  
15 valeur absolue de forme différentielle paramétrique, du genre :

$\rho_{ij,pq,k} = | a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$ , où  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  sont des paramètres et  $h_{ij,pq,k}$  est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  "centrale" et une trace locale sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  voisine.

Après avoir défini l'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$ ,  
20 on détermine les paramètres  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  qui correspondent à une minimisation d'ensemble des résidus  $\rho_{ij,pq,k}$  sur le voisinage conditionnel à l'étape 102.

Le critère de minimisation choisi est arbitraire, et peut par exemple comporter une minimisation d'une somme de puissance supérieure à 1 des résidus, de la forme

$$C^\alpha(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^\alpha, \text{ où } \alpha \text{ est une puissance réelle positive supérieure à 1.}$$

25 Le cas échéant, chaque terme  $(\rho_{ij,pq,k})^\alpha$  de cette somme peut être pondérée par un facteur fonction croissante du coefficient de corrélation  $P_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$ .

La minimisation effectuée à l'étape 102 produit comme résultat à l'étape 103 la meilleure estimation des coefficients  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  qui sont les coefficients directeurs

de l'horizon passant par le point de coordonnées horizontales  $i, j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$ .

- 5 A l'étape 104, selon une première variante de l'invention, on détermine les vecteurs unitaires normaux à l'horizon passant par le point de coordonnées spatiales  $i, j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$  par des formules de type connu :

$$N^x(i, j, k) = \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^y(i, j, k) = \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^t(i, j, k) = \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 - 1}}$$

- 10 Le vecteur unitaire normal ainsi obtenu ou tout vecteur qui lui est parallèle permet une visualisation sur écran plus efficace que les visualisations de l'art antérieur, de manière à révéler les paramètres sismiques et les profils des horizons géologiques avec un contraste amélioré par rapport à l'art antérieur.

- 15 Pour une autre variante de l'invention à l'étape 105, on choisit comme indice de courbure de l'horizon au point de coordonnées spatiales  $i, j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$  une fonction croissante des résidus comportant les coefficients  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  déterminés à l'étape 103.

- On peut notamment utiliser comme indicateur ou indice de courbure le critère de minimisation  $C^\alpha(i, j, k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^\alpha$  utilisé pour calculer les coefficients
- 20 paramétriques  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  déterminés à l'étape 103.

On peut également utiliser sans sortir du cadre de la présente invention, toute autre fonction croissante des résidus sur le voisinage conditionnel  $N_{ij,k}(r)$ .

- En effet, dans le cas où l'horizon est parfaitement plan au voisinage du point de coordonnées spatiales  $i, j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$ , toute
- 25 fonction croissante des résidus sera égale à zéro et l'indice de courbure locale sera par conséquent également égal à zéro.

Au contraire, dans le cas où l'horizon au point de coordonnées spatiales  $i,j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$  n'est pas plan, l'indice de courbure calculé à l'étape 105 du procédé selon l'invention fournit une indication ou une mesure de la différence entre l'horizon considéré et le plan localement osculateur au point de coordonnées spatiales  $i,j$  et de coordonnée temporelle ou de profondeur  $k$ .

L'invention permet également par le calcul de l'indice de courbure et sa représentation graphique sur un écran d'améliorer le contraste des mesures sismiques fournies par les géophones sous forme de matrice sismique tridimensionnelle et d'éviter ainsi des mesures sismiques additionnelles jugées au voisinage de discontinuités ou de failles géologiques.

La mise en œuvre préférée d'un procédé selon l'invention consiste à utiliser un dispositif pour la mise en œuvre du procédé contenant un produit-programme d'ordinateur exécutant les étapes du procédé selon l'invention décrites en référence aux figures 1 à 6.

A cet effet, le dispositif selon l'invention est muni de moyens de mémorisation appropriés pour mémoriser et calculer les éléments successivement utilisés dans le procédé selon l'invention.

De préférence, la mise en œuvre du procédé selon l'invention s'effectue sur une station de travail de calculs sismiques en chargeant un produit-programme selon l'invention comportant des éléments de codes de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'invention.

Le produit-programme peut comporter des éléments de codes de programme relatifs aux étapes 100, 101, 102, 103 et 104 décrites en référence à la figure 6.

Alternativement, le produit-programme selon l'invention peut comporter les éléments de codes de programme pour exécuter les étapes 100, 101, 102, 103 et 105 décrites en référence à la figure 6.

Selon d'autres variantes, un produit-programme d'ordinateur selon l'invention peut également comporter des éléments de codes de programme pour exécuter au moins l'ensemble des étapes de procédé décrites en référence à la figure 6.

L'invention décrite en référence à plusieurs modes de réalisation n'y est nullement limitée, mais couvre au contraire toute modification de forme et toute

variante de mise en œuvre, incluant ou non une présentation de résultats intermédiaires sur écran de visualisation.

## REVENDICATIONS

1. Procédé pour déterminer localement la forme des horizons géologiques, dans lequel on construit une fonction continue  $S_{ij,k}(t)$  par interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une matrice sismique tridimensionnelle, ladite fonction  $S_{ij,k}(t)$  étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :

a). utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, ce décalage optimal n'étant pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage vertical ;

b). retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  le sous-voisinage consistant en des traces voisines  $S_{pq,k}(t)$  correspondant à des décalages optimaux  $h_{ij,pq,k}$  associés à des corrélations  $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$  supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;

c). définir pour chaque trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  comportant des coefficients paramétriques ;

d). déterminer les coefficients paramétriques  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les valeurs de résidu de l'étape c) sont des valeurs absolues de forme différentielle paramétrique, par exemple  $| a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$ , où  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  sont les paramètres et  $h_{ij,pq,k}$  est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue  $S_{ij,k}(t)$  "centrale" et une trace locale sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  voisine.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel la minimisation d'ensemble des résidus  $\rho_{ij,pq,k}$  sur le voisinage conditionnel comporte une minimisation d'une somme de puissances des résidus, de la forme

$$C^\alpha(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^\alpha, \text{ où } \alpha \text{ est une puissance supérieure à 1.}$$

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les coefficients  $a_{ij,k}$  et  $b_{ij,k}$  déterminés à l'étape b) sont utilisés pour définir un vecteur unitaire  $N(i,j,k)$  de coordonnées  $N^x(i,j,k)$ ,  $N^y(i,j,k)$ ,  $N^t(i,j,k)$ , par exemple de la forme:

$$\begin{aligned} N^x(i,j,k) &= \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^y(i,j,k) &= \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^t(i,j,k) &= \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 - 1}} \end{aligned}$$

et dans lequel on choisit ce vecteur unitaire comme vecteur unitaire normal (orthogonal) à l'horizon du nœud  $(i, j, k)$ .

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel on utilise l'ensemble des vecteurs unitaires normaux  $N(i, j, k)$  pour définir le champ des vecteurs unitaires normaux, en vue de l'affichage sur écran des profils des horizons sismiques.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel on choisit comme indice de courbure une fonction croissante des résidus comportant les coefficients paramétriques déterminés à l'étape d).

7. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  le sous-voisinage consistant en des traces voisines  $S_{pq,k}(t)$  correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations  $R_{ij,pq,k}(h)$  supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1, des moyens pour définir pour chaque trace sismique locale continue  $S_{pq,k}(t)$  du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale"  $S_{ij,k}(t)$  comportant des coefficients paramétriques et des moyens pour déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

8. Dispositif selon la revendication 7, comportant des moyens de mémorisation et des moyens de visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.



9. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

---

5 10. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon la revendication 6, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

1/3

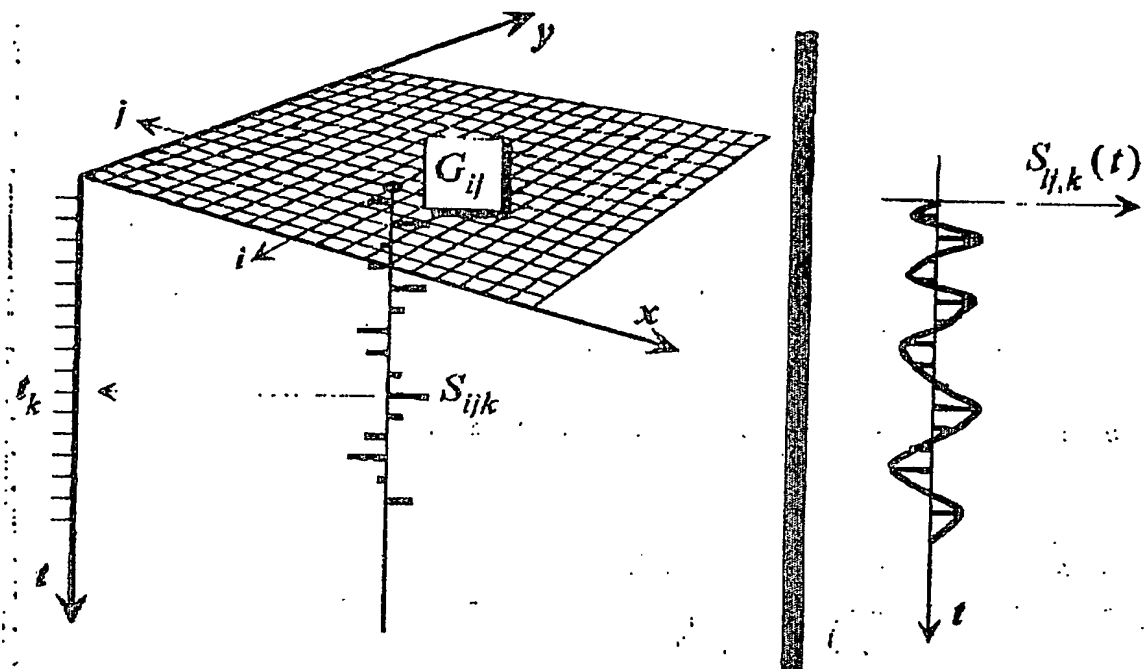


FIG. 1

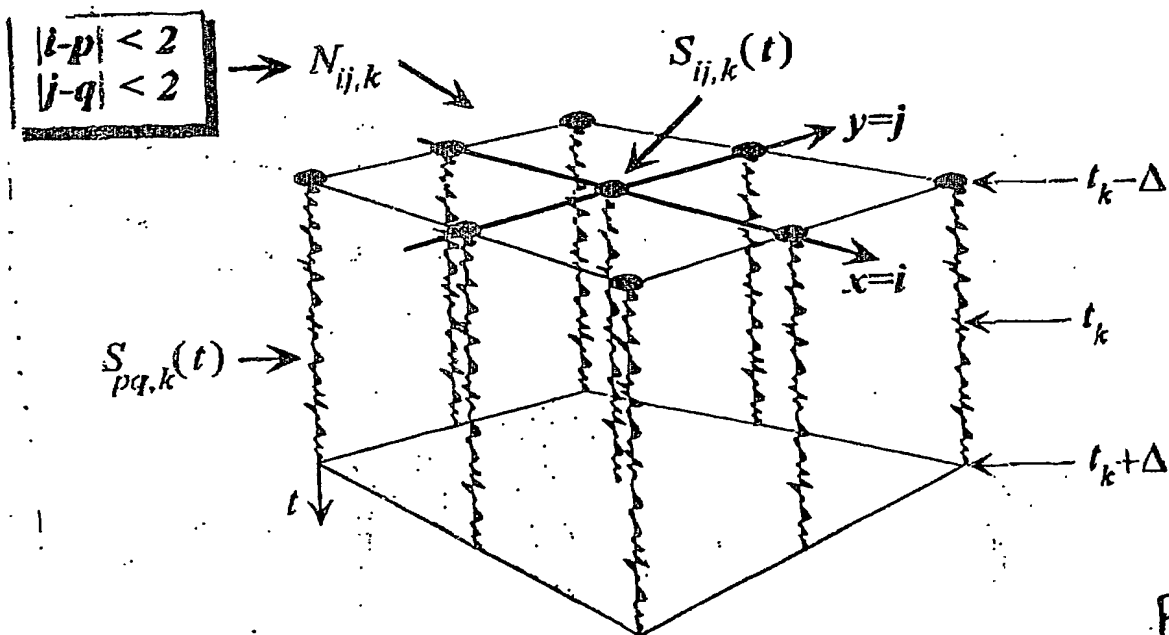


FIG. 2

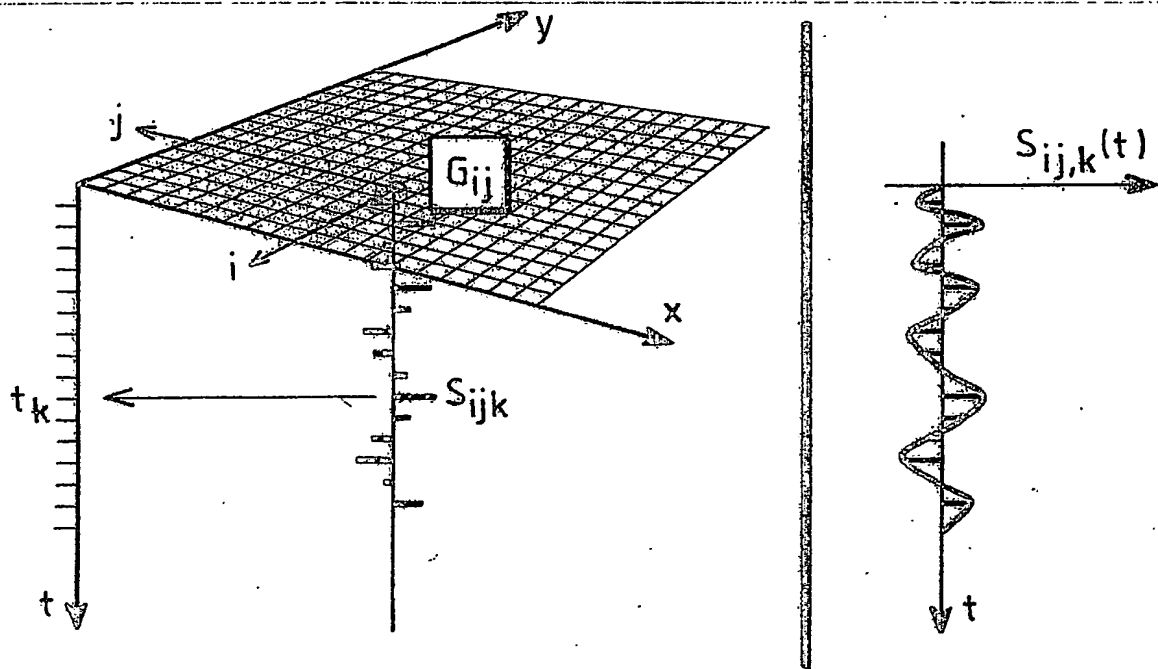


FIG. 1

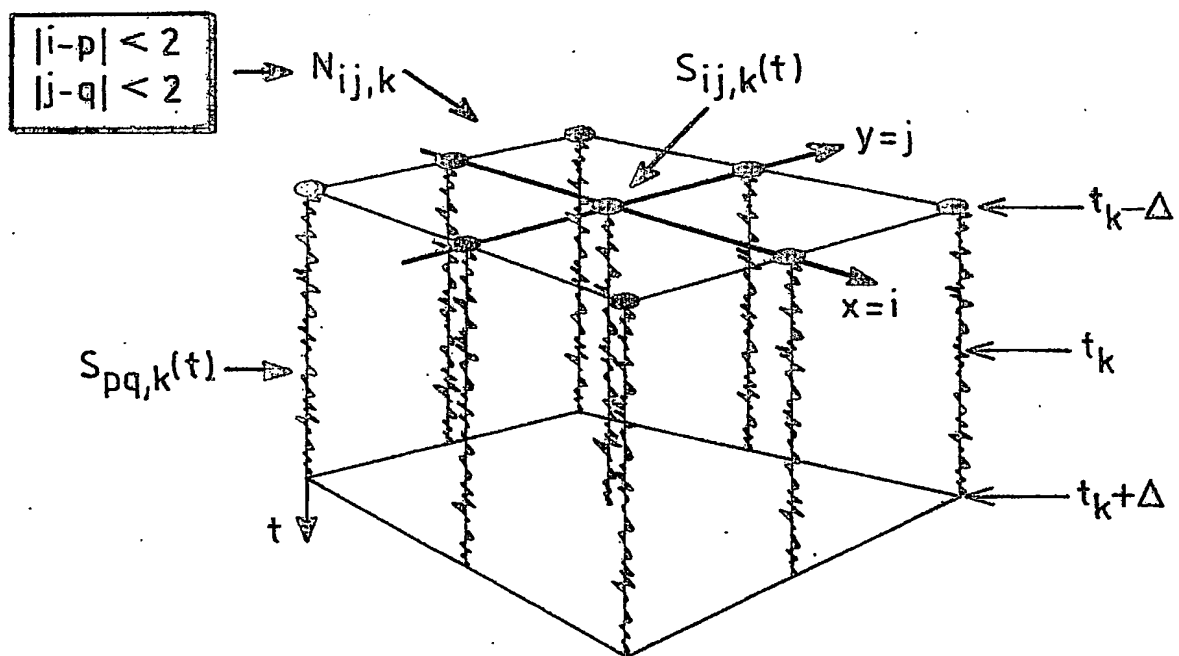


FIG. 2

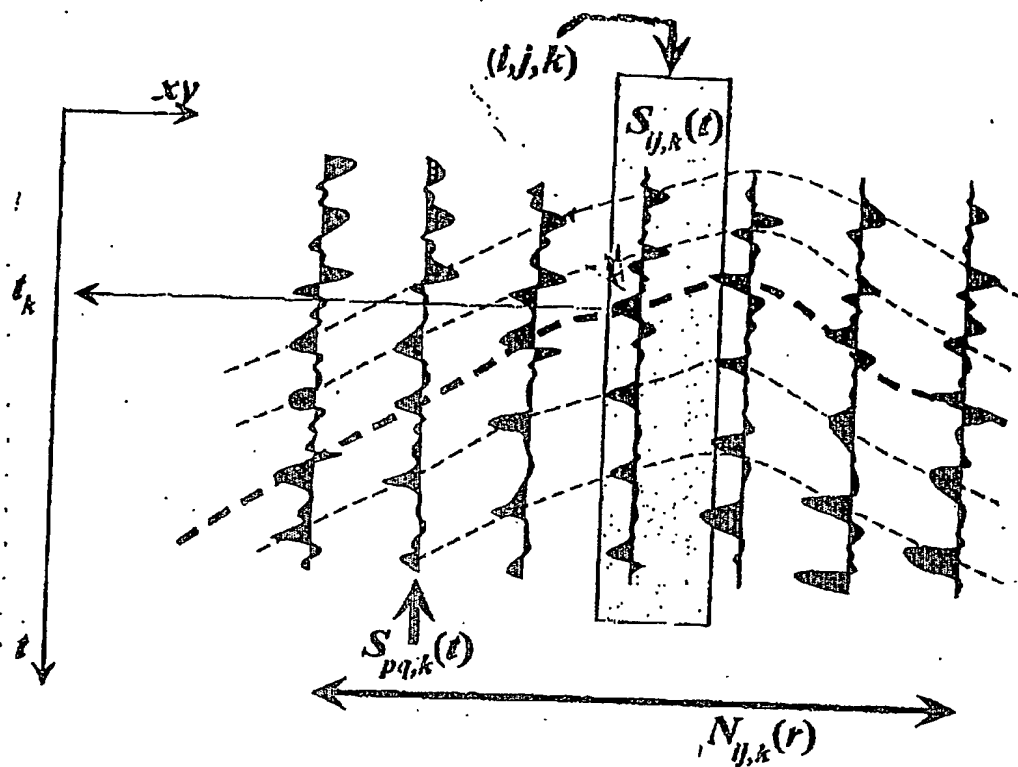


FIG. 3

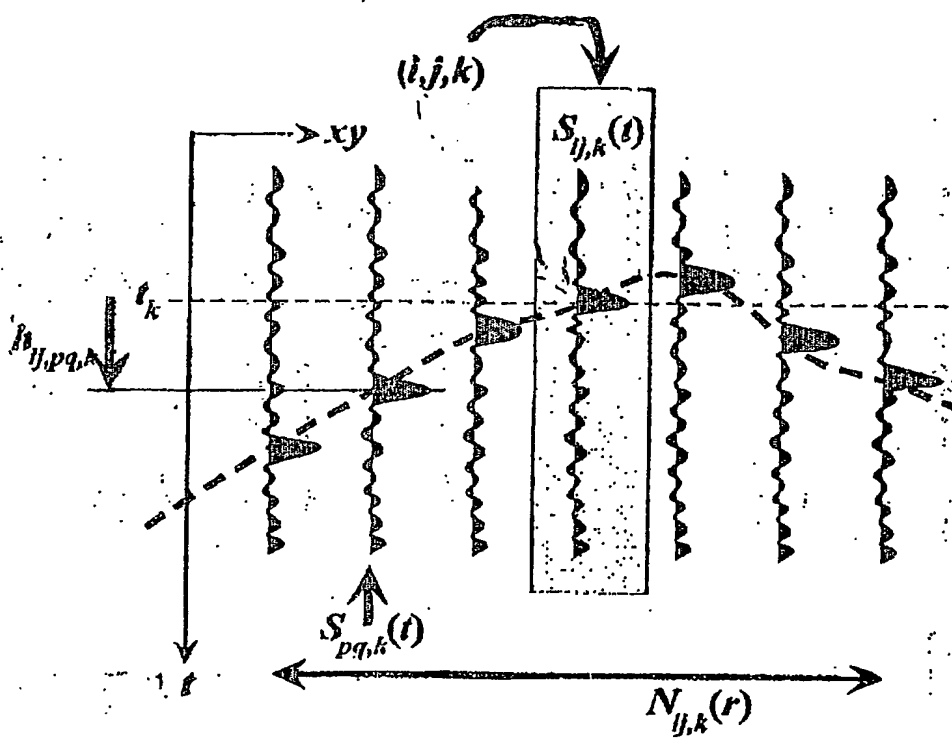


FIG. 4

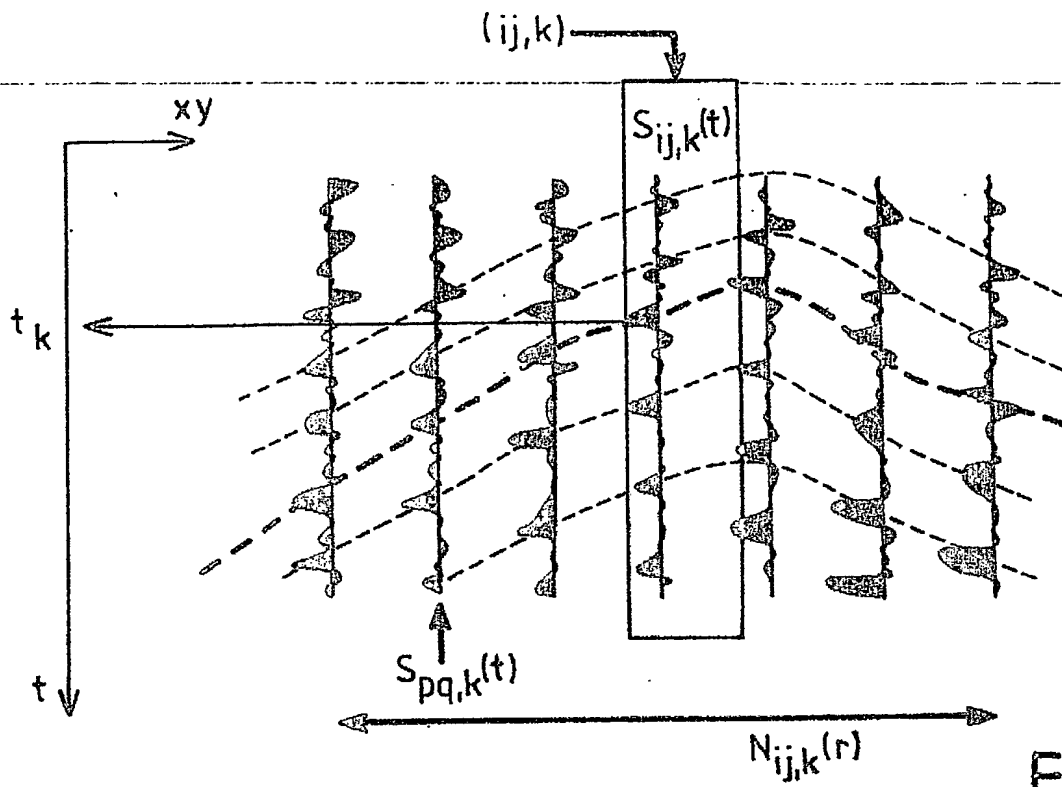


FIG. 3

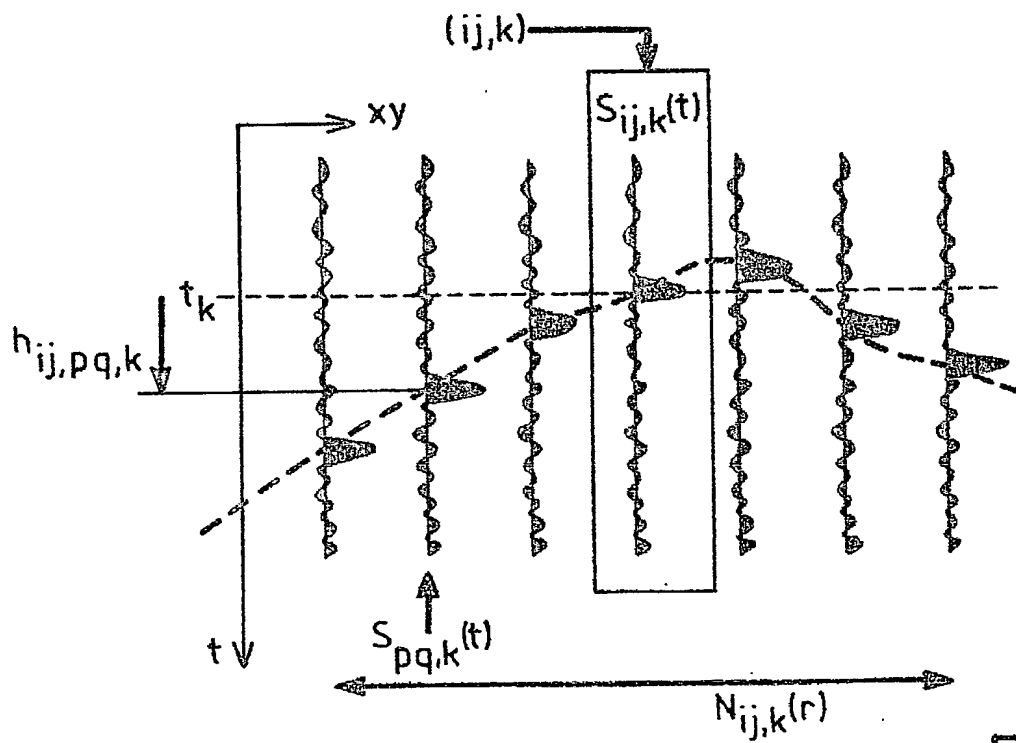


FIG. 4

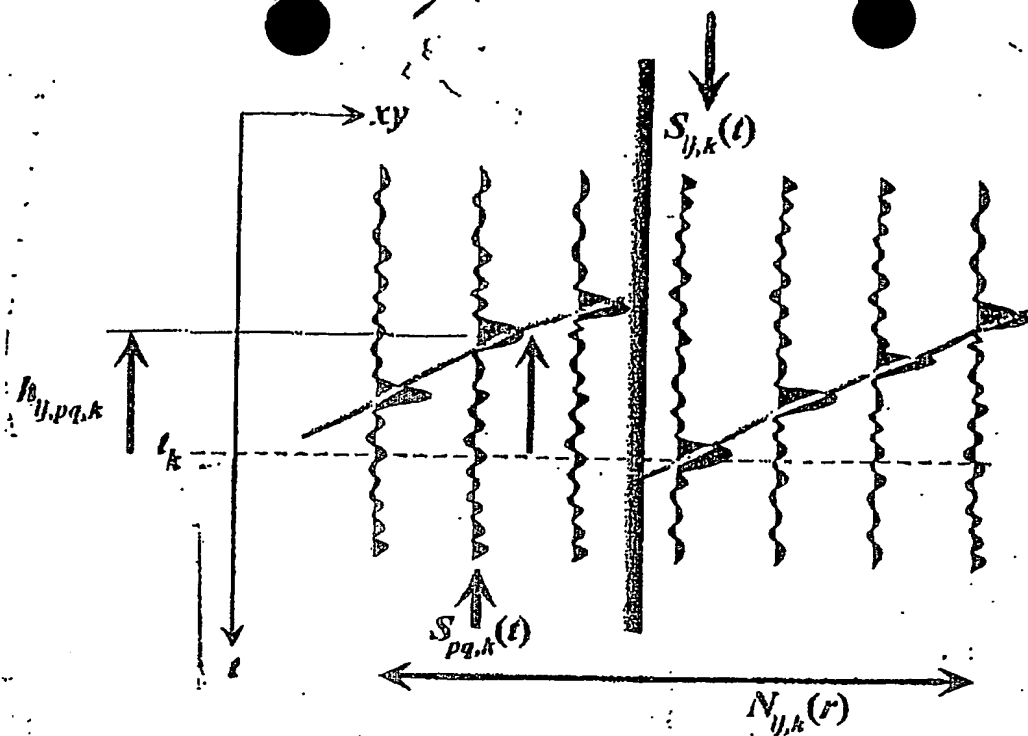


FIG. 5

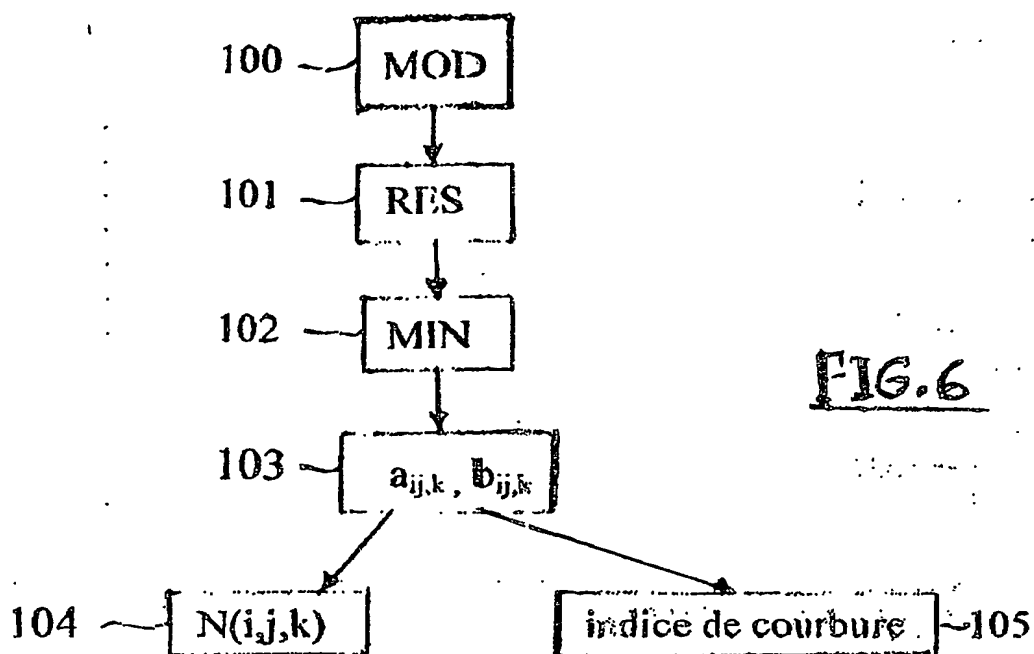


FIG. 6

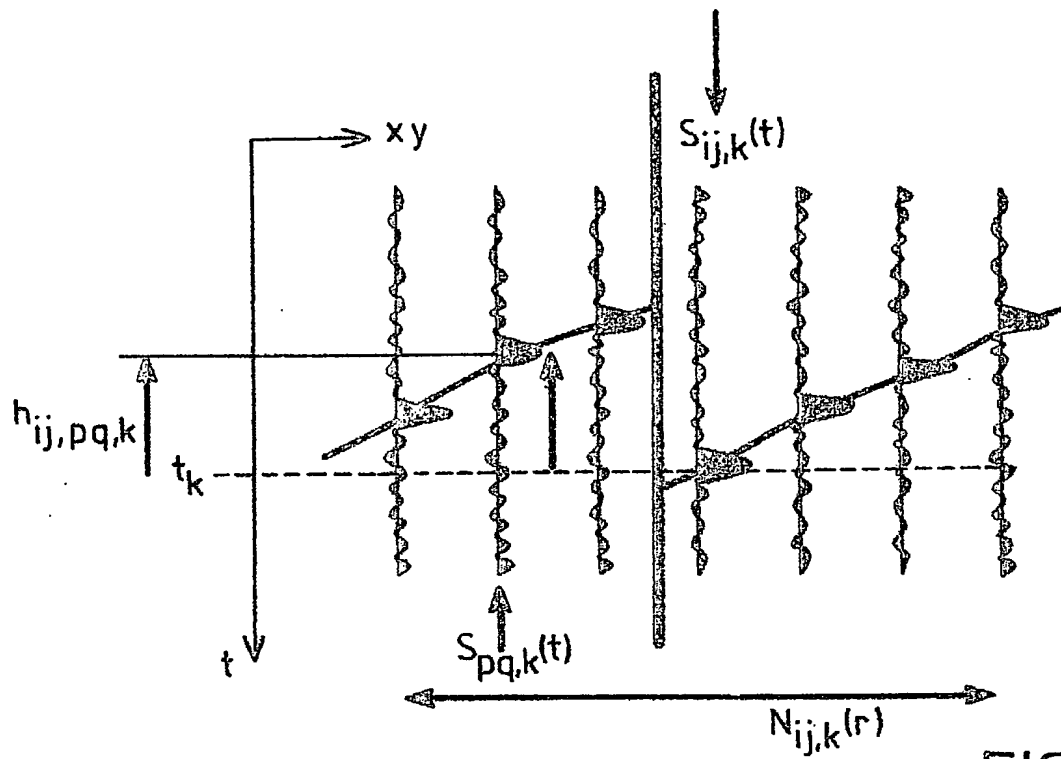


FIG. 5

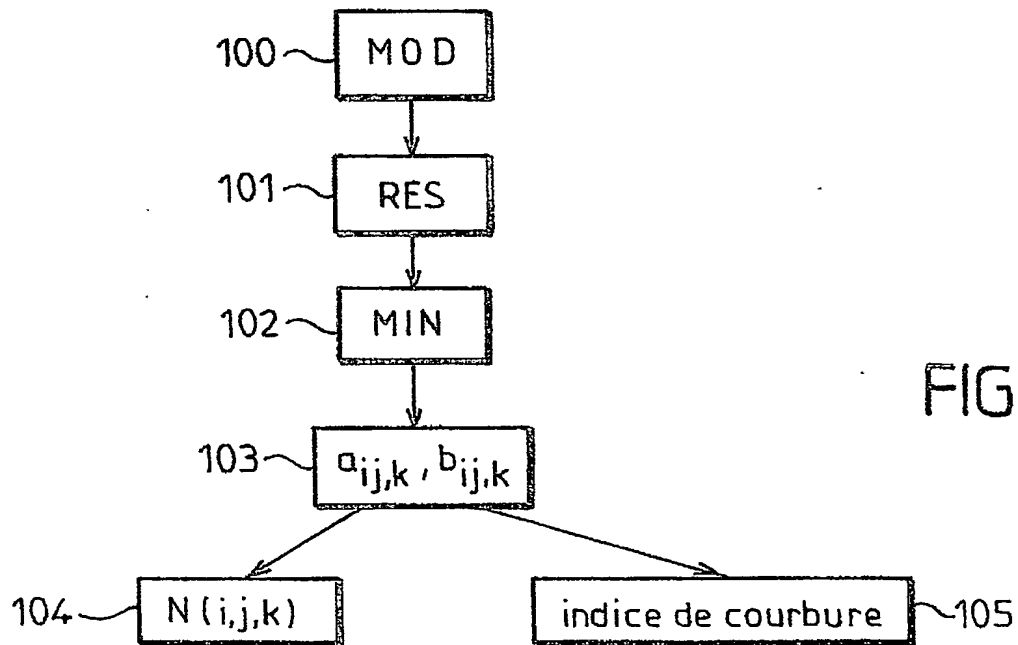


FIG. 6

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

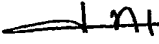
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.. / 1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		T020509 JK/LC	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.07598	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
"Procédé, dispositif et produit-programme pour déterminer localement le profil des horizons géologiques"			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
TSURF Bâtiment M11 - Parc d'Activités Technologiques Europarc Nancy Brabois 22, allée de la Forêt de la Reine 54500 VANDOEUVRE LES NANCY			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		DULAC	
Prénoms		Jean - Claude	
Adresse	Rue	2634 Williams Grant	
	Code postal et ville	SUGARLAND, TX 77479, U.S.A.	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		BOSQUET	
Prénoms		Fabien	
Adresse	Rue	18823 Ashford Pine	
	Code postal et ville	HOUSTON, TX 77082, U.S.A.	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LABRUNYE	
Prénoms		Emmanuel	
Adresse	Rue	14 rue Camille Mathis	
	Code postal et ville	54000 Nancy	
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		 <b>P. LE DEL'NAIRE</b> <b>DIRECTEUR GÉNÉRAL</b> <b>TSURF S.A.</b> Technopôle Nancy-Brabois 22 Allée de la Forêt de la Reine 54500 VANDOEUVRE LES NANCY Tél. 03 83 62 66 33 410 83 62 66 33 159 00019	